

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 Offenlegungsschrift  
 10 DE 199 32 635 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 04 L 7/033  
G 06 F 1/04

21 Aktenzeichen: 199 32 635.5  
 22 Anmeldetag: 13. 7. 1999  
 43 Offenlegungstag: 17. 8. 2000

DE 199 32 635 A 1

**(66) Innere Priorität:**  
199 06 297. 8                      15. 02. 1999

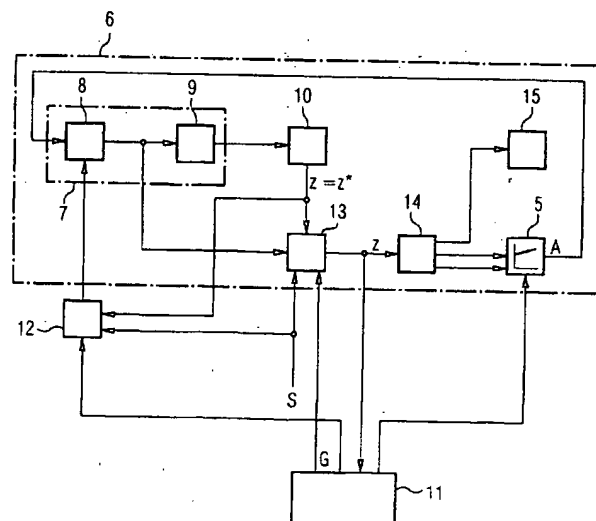
**(71) Anmelder:**  
Siemens AG, 80333 München, DE

**(72) Erfinder:**  
Finsternbusch, Rolf, Dipl.-Ing., 09114 Chemnitz, DE;  
Hellmich, Steffen, Dipl.-Ing., 09116 Chemnitz, DE;  
Seja, Marco, 09648  
Schönborn-Dreierwerden-Seifersbach, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Synchronisierverfahren für eine Empfangseinheit und hiermit korrespondierende Empfangseinheit

(57) Eine Empfangseinheit (2) wird mit einer Sendeeinheit (1) dadurch genauer synchronisiert, daß anhand von von der Sendeeinheit (1) ausgesandten Synchronisationssignalen (S) ein Taktgeber (7) einer phasenverriegelten Schleife (6) nachgeregelt wird, wobei ein Phasenregler (5) momentanen Phasenfehler (z) zu einem Integrationswert (I) aufintegriert und der Integrationswert (I) nur zu einem Integrationsbruchteil (ki) ausgeregelt wird, der kleiner als eins ist.



DE 199 32 635 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Synchronisierverfahren für eine Empfangseinheit,

- wobei der Empfangseinheit von einer Sendeeinheit zyklisch ausgesandte Synchronisationssignale übermittelt werden,
- wobei die Empfangseinheit die Synchronisationssignale einem Phasenregler einer phasenverriegelten Schleife mit einem Taktgeber zuführt,
- wobei der Taktgeber zwischen zwei Synchronisationssignalen eine Anzahl von Taktsignalen ausgibt,
- wobei der Phasenregler beim Empfang der Synchronisationssignale momentane Phasenfehler ermittelt und den Taktgeber derart nachregelt, daß der Taktgeber zwischen zwei Synchronisationssignalen eine Sollanzahl von Taktsignalen ausgibt,

sowie eine hiermit korrespondierende Empfangseinheit.

Derartige Synchronisierverfahren und die korrespondierenden Empfangseinheiten sind allgemein bekannt. Sie werden unter anderem in Feldbussystemen, z. B. dem PROFIBUS, eingesetzt.

Feldbussysteme sind verteilte Steuerungssysteme, die in der Regel eine Sendeeinheit (Kopfbaugruppe, Busmaster) und eine Vielzahl von Empfangseinheiten (Slaves) aufweisen. Die Ansteuerung der einzelnen Slavebaugruppen geschieht in der Regel dadurch, daß die Sendeeinheit den Empfangseinheiten ein Befehlstelegramm übermittelt. Bei Empfang des Befehlstelegramms geben die Empfangseinheiten Sollwerte an eine gesteuerte technische Anlage aus, die ihnen zuvor von der Sendeeinheit übermittelt worden sind. Gleichzeitig lesen sie Istwerte von der gesteuerten technischen Anlage ein, welche sie nachfolgend an die Sendeeinheit übermitteln. Die Sendeeinheit errechnet dann neue Sollwerte, die sie den einzelnen Empfangseinheiten übermittelt, so daß diese für das nächste Befehlstelegramm bereit sind.

Die Befehlstelegramme werden von der Sendeeinheit zeitlich äquidistant gesendet. Aus den Befehlstelegrammen sind daher Synchronisationssignale ableitbar, mittels derer die Empfangseinheiten mit der Sendeeinheit synchronisierbar sind.

In der Praxis verbleibt zwischen dem Übermitteln der eingelesenen Istwerte an die Sendeeinheit und dem Übermitteln der Sollwerte an die Empfangseinheiten einerseits und den Übermitteln des nächsten Befehlstelegramms andererseits ein zeitlicher Spielraum. Dieser wird in der Regel für sogenannte azyklische Telegramme genutzt. Hierbei kann es geschehen, daß aufgrund von Verzögerungen durch die azyklischen Telegramme einzelne Befehlstelegramme verspätet gesendet werden. Der Empfang derart verspätet gesendeter Befehlstelegramme bewirkt eine fehlerhafte Nachsynchronisation der Empfangseinheiten. Bei vielen Anwendungen ist diese fehlerhafte Nachsynchronisation unkritisch. Bei zeitkritischen Anwendungen hingegen, insbesondere bei der Kopplung interpolierender Antriebsachsen, sind derartige fehlerhafte Nachsynchronisation nicht tolerierbar.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Synchronisierverfahren für eine Empfangseinheit zu schaffen, mittels derer die Empfangseinheit mit hinreichender Genauigkeit mit der Sendeeinheit synchronisierbar ist.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Phasenregler die momentanen Phasenfehler zu einem Integrationswert aufintegriert und daß der Integrationswert zu einem Integrationsbruchteil ausgeregt wird, wobei der Integrationsbruchteil kleiner als eins ist.

Wenn der Phasenregler die momentanen Phasenfehler zu einem Proportionalbruchteil ausregelt, wobei der Proportionalbruchteil kleiner als eins ist, ergibt sich eine schnellere Ausregelung des Phasenfehlers. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Proportionalbruchteil größer als der Integrationsbruchteil ist.

Wenn der Phasenregler den Taktgeber nur dann nachregelt, wenn der Absolutwert des momentanen Phasenfehlers einen Maximalfehler nicht übersteigt; bewirken Verzögerungen der Synchronisationssignale durch azyklische Telegramme keine fehlerhafte Nachregelung des Taktgebers.

Wenn bei Übersteigen des Maximalfehlers ein Zähler hochgezählt wird, ist insbesondere ein dauerhafter Fehler der Kommunikation zwischen Sendeeinheit und Empfangseinheit erkennbar.

Wenn der phasenverriegelten Schleife von einer Steuereinheit ein Gültigkeitssignal übermittelt wird und das Synchronisierverfahren nur bei Vorliegen des Gültigkeitssignals ausgeführt wird, ist sicherstellbar, daß die Synchronisation auf die richtigen Synchronisationssignale erfolgt.

Wenn innerhalb des Taktgebers ein Taktgenerator Primärtaktsignale erzeugt, die einem Frequenzteiler zugeführt werden, der ausgangseitig die heruntergeteilten Primärtaktsignale als Taktsignale ausgibt, ist gewährleistet, daß alle zwischen dem Taktgenerator und dem Frequenzteiler angeordneten Komponenten ebenfalls phasenrichtig synchronisiert sind.

Wenn vor der Ermittlung des ersten momentanen Phasenfehlers der Taktgeber die Sollanzahl von Taktsignalen ausgibt, dann angehalten wird und beim Empfang des nächsten Synchronisationssignals wieder gestartet wird, ergibt sich eine besonders schnelle Synchronisation der Empfangseinheit beim Anlauf.

Wenn beim Empfang des ersten Synchronisationssignals nach dem Wiederstarten des Taktgebers der momentane Phasenfehler zumindest im wesentlichen ausgeregt wird und das Aufintegrieren der momentanen Phasenfehler und das Ausregeln des Integrationswerts, ggf. auch das Ausregeln des momentanen Phasenfehlers, erst ab dem Empfang des zweiten Synchronisationssignals ausgeführt wird, wird die Synchronisierung zu Beginn des Verfahrens noch weiter beschleunigt.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung:

Fig. 1 ein verteiltes Steuerungssystem,

Fig. 2 eine Empfangseinheit und

Fig. 3 eine phasenverriegelte Schleife.

Gemäß Fig. 1 weist ein verteiltes Steuerungssystem eine Sendeeinheit 1 und Empfangseinheiten 2 auf, die über ein Bussystem 3 miteinander verbunden sind. Die Sendeeinheit 1 sendet zyklisch Telegramme an die Empfangseinheiten 2, welche entsprechend auf die empfangenen Telegramme reagieren. Beispielsweise lesen die Empfangseinheiten 2 von einer gesteuerten technischen Anlage 4 Eingangsgrößen ein und geben Ausgangsgrößen an die technische Anlage 4 aus. Dies ist in Fig. 1 durch die Pfeile zwischen den Empfangseinheiten 2 und der technischen Anlage 4 angedeutet.

Die Kommunikation zwischen der Sendeeinheit 1 und den Empfangseinheiten 2 erfolgt in der Regel nach folgendem, zyklisch abgearbeiteten Schema: Zunächst übermittelt die Sendeeinheit 1 den Empfangseinheiten 2 Ausgangsgrößen, die an die technische Anlage 4 ausgegeben werden sollen. Dann übermittelt sie ein Befehlstelegramm an die Empfangseinheiten 2. Bei Übermittlung des Befehlstelegramms geben die Empfangseinheiten 2 die Ausgangsgrößen an die technische Anlage 4 aus und lesen Eingangsgrößen von der technischen Anlage 4 ein. Sodann werden die eingelesenen

Eingangsgrößen von der Sendeeinheit 1 abgefragt.

Im Idealfall wird das obenstehende Schema streng zyklisch und zeitlich streng äquidistant abgearbeitet. Insbesondere die Befehlsstelegramme können daher als Synchronisationssignale S verwendet werden bzw. aus den Befehlsstelegrammen Synchronisationssignale S abgeleitet werden. Mittels der Synchronisationssignale S können sich dann die Empfangseinheiten 2 mit der Sendeeinheit 1 synchronisieren.

Die von den Empfangseinheiten 2 empfangenen Synchronisationssignale werden gemäß Fig. 2 und 3 über einen Busanschlußbaustein 2' einem Phasenregler 5 einer phasenverriegelten Schleife 6 zugeführt. Die phasenverriegelte Schleife 6 weist einen Taktgeber 7 auf. Innerhalb des Taktgebers 7 erzeugt ein Taktgenerator 8 Primärtaktsignale, die einem Frequenzteiler 9 zugeführt werden. Ausgangsseitig gibt der Frequenzteiler 9 die heruntergeteilten Primärtaktsignale als Taktsignale aus. Die Taktsignale werden einem Taktsignalzähler 10 zugeführt.

Bei idealer Regelung des Taktgenerators 8 gibt der Taktgeber 7 zwischen zwei Synchronisationssignalen S exakt eine Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen aus. In der Regel gibt der Taktgeber 7 aber eine Anzahl Z von Taktsignalen aus, welche von der Sollanzahl  $Z^*$  abweicht. Der Phasenregler 5 ermittelt daher beim Empfang der Synchronisationssignale momentane Phasenfehler z und regelt dann den Taktgeber 7 derart nach, daß er zwischen zwei Synchronisationssignalen S die Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen ausgibt. Dies geschieht wie folgt:

Vor Beginn der Synchronisation, also vor der Ermittlung des ersten momentanen Phasenfehlers z, wird zunächst von einer Steuereinheit 11 einer Ansteuereinheit 12 ein Startsignal vorgegeben. Diese steuert daraufhin den Taktgenerator 8 des Taktgebers 7 an. Wenn der Taktsignalzähler 10 die Sollanzahl  $Z^*$  von Taktsignalen gezählt hat, übermittelt der Taktsignalzähler 10 ein Signal an die Ansteuereinheit 12. Diese hält daraufhin den Taktgenerator 8 wieder an. Die phasenverriegelte Schleife 6 ist dadurch sozusagen "vorgespannt". Beim Empfang des nächsten Synchronisationssignals, das ebenfalls an die Ansteuereinheit 12 übermittelt wird, startet diese dann den Taktgenerator 8 wieder. Dadurch wird der Taktsignalzähler 10 neu hochgezählt.

Das Erreichen der Sollanzahl  $Z^*$  sowie das Eintreffen des nächsten Synchronisationssignals S wird an einen Primärtaktzähler 13 gemeldet. Beim Eintreffen des ersten dieser beiden Signale wird der Primärtaktzähler 13 gestartet, beim Eintreffen des zweiten der beiden Signale gestoppt. Der (vorzeichenbehaftete) Zählerstand des Primärtaktzählers 13 ist somit ein direktes Maß für den Fehler zwischen der Taktung des Taktgebers 7 und der Periodizität der Synchronisationssignale S.

Beim Empfang des ersten Synchronisationssignals S nach dem Wiederstarten des Taktgebers 7 wird der Zählerstand des Primärtaktzählers 13 an die Steuereinheit 11 übermittelt. Diese errechnet daraus einen Korrekturwert für die Ansteuerung des Taktgenerators 8 und gibt diesen Korrekturwert direkt dem Phasenregler 5 vor. Dadurch wird der beim ersten Synchronisationszyklus detektierte momentane Phasenfehler z zumindest im wesentlichen ausgeglichen.

In den weiteren Synchronisationszyklen wird der Primärtaktzähler 13 stets in Abhängigkeit vom Synchronisationssignal S und dem Erreichen der Sollanzahl  $Z^*$  gesteuert. Beim Eintreffen des ersten dieser beiden Signale wird der Primärtaktzähler 13 gestartet und beim Eintreffen des zweiten dieser beiden Signale gestoppt. Der Zählerstand des Primärtaktzählers 13 wird einem Vergleichler 14 zugeführt. Der Zählerstand des Primärtaktzählers 13 wird betragsmäßig mit einem Maximalfehler verglichen. Wenn der Zählerstand den

Maximalfehler übersteigt, wird ein Auszeitzähler 15 hochgezählt. In diesem Fall wird an den Phasenregler 5 kein Fehlersignal ausgegeben. Der Phasenregler 5 behält sein bisheriges Ausgangssignal bei.

Anderenfalls wird das Ausgangssignal A des Phasenreglers 5 nach folgenden Formeln berechnet:

$$I(i) = I(i-1) + k_i \cdot z(i)$$

$$A(i) = k_p \cdot z(i) + I(i)$$

$z(i)$  ist dabei der momentane Phasenfehler,  $k_p$  der Proportionalbruchteil, zu dem der momentane Phasenfehler  $z(i)$  ausgerechnet wird,  $I(i)$  der Integrationswert, zu dem die momentanen Phasenfehler  $z(k)$ ,  $k = 0, 1, 2, 3 \dots i$  aufintegriert wurden und  $k_i$  der Integrationsbruchteil, zu dem der Integrationswert I ausgerechnet wird.

In der Praxis haben sich folgende Werte als günstig erwiesen:

Der Integrationsbruchteil  $k_i$  sollte typisch zwischen 0,01 und 0,04 liegen, also kleiner als 1 sein. Auch der Proportionalbruchteil  $k_p$  sollte kleiner als 1 sein, aber größer als der Integrationsbruchteil  $k_i$ . Typisch liegt der Proportionalbruchteil  $k_p$  zwischen 0,04 und 0,10.

In der Regel wird der Primärtaktzähler 13 bei jeder Übermittlung eines Synchronisationssignals S gestartet bzw. gestoppt. Es ist aber auch möglich, der phasenverriegelten Schleife 6 zusätzlich von der Steuereinheit 11 ein Gültigkeitssignal G zu übermitteln. In diesem Fall wird der Primärtaktzähler 13 nur dann gestartet und gestoppt, wenn das Gültigkeitssignal G anliegt. Es ist ferner möglich, den Primärtaktzähler 13 um einen Phasenversatz bezüglich des Synchronisationssignals S versetzt zu starten und auszuwerten.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich insbesondere auch verteilt gesteuerte interpolierende Achsen mit hinreichender Genauigkeit ansteuern.

#### Patentansprüche

##### 1. Synchronisierverfahren für eine Empfangseinheit (2),

- wobei der Empfangseinheit (2) von einer Sendeeinheit (1) zyklisch ausgesandte Synchronisationssignale (S) übermittelt werden,
- wobei die Empfangseinheit (2) die Synchronisationssignale (S) einem Phasenregler (5) einer phasenverriegelten Schleife (6) mit einem Taktgeber (7) zuführt,
- wobei der Taktgeber (7) zwischen zwei Synchronisationssignalen (S) eine Anzahl (Z) von Taktsignalen ausgibt,
- wobei der Phasenregler (5) beim Empfang der Synchronisationssignale (S) momentane Phasenfehler (z) ermittelt und den Taktgeber (7) derart nachregelt, daß der Taktgeber (7) zwischen zwei Synchronisationssignalen (S) eine Sollanzahl ( $Z^*$ ) von Taktsignalen ausgibt,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß der Phasenregler (5) die momentanen Phasenfehler (z) zu einem Integrationswert (I) aufintegriert und daß der Integrationswert (I) zu einem Integrationsbruchteil ( $k_i$ ) ausgerechnet wird, wobei der Integrationsbruchteil ( $k_i$ ) kleiner als eins ist.

##### 2. Synchronisierverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasenregler (5) die momentanen Phasenfehler (z) zu einem Proportionalbruchteil ( $k_p$ ) ausregelt, wobei der Proportionalbruchteil ( $k_p$ ) kleiner als eins ist.

3. Synchronisierverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Proportionalbruchteil ( $k_p$ ) größer als der Integrationsbruchteil ( $k_i$ ) ist.
4. Synchronisierverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasenregler (5) den Taktgeber (7) nur dann nachregelt, wenn der Absolutwert des momentanen Phasenfehlers ( $z$ ) einen Maximalfehler nicht übersteigt.
5. Synchronisierverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei Übersteigen des Maximalfehlers ein Zähler (15) hochgezählt wird.
6. Synchronisierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der phasenverriegelten Schleife (6) von einer Steuereinheit (11) ein Gültigkeitssignal (G) übermittelt wird und daß das Synchronisierverfahren nur bei Vorliegen des Gültigkeitssignals (G) ausgeführt wird.
7. Synchronisierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des Taktgebers (7) ein Taktgenerator (8) Primärtaktsignale erzeugt, die einem Frequenzteiler (9) zugeführt werden, der ausgangsseitig die heruntergeteilten Primärtaktsignale als Taktsignale ausgibt.
8. Synchronisierverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Ermittlung des ersten momentanen Phasenfehlers ( $z$ ) der Taktgeber (7) die Sollanzahl ( $Z^*$ ) von Taktsignalen ausgibt, dann angehalten wird und beim Empfang des nächsten Synchronisationssignals (S) wieder gestartet wird.
9. Synchronisierverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß beim Wiederstarten des Taktgebers (7) der Taktgeber (7) erst nach einem Phasenversatz gestartet wird und daß die Anzahl (Z) der vom Taktgeber (7) bis zum nächsten empfangenen Synchronisationssignal (S) zuzüglich dem Phasenversatz ausgegebene Taktsignale ermittelt wird.
10. Synchronisierverfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß beim Empfang des ersten Synchronisationssignals (S) nach dem Wiederstarten des Taktgebers (7) der momentane Phasenfehler ( $z$ ) zumindest im wesentlichen ausgeregelt wird und das Aufintegrieren der momentanen Phasenfehler ( $z$ ) und das Ausregeln des Integrationswerts (I), ggf. auch das Ausregeln des momentanen Phasenfehlers ( $z$ ), erst ab dem Empfang des zweiten Synchronisationssignals (S) ausgeführt wird.
11. Empfangseinheit zur Durchführung eines Synchronisierverfahrens nach einem der obigen Ansprüche.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

FIG 1

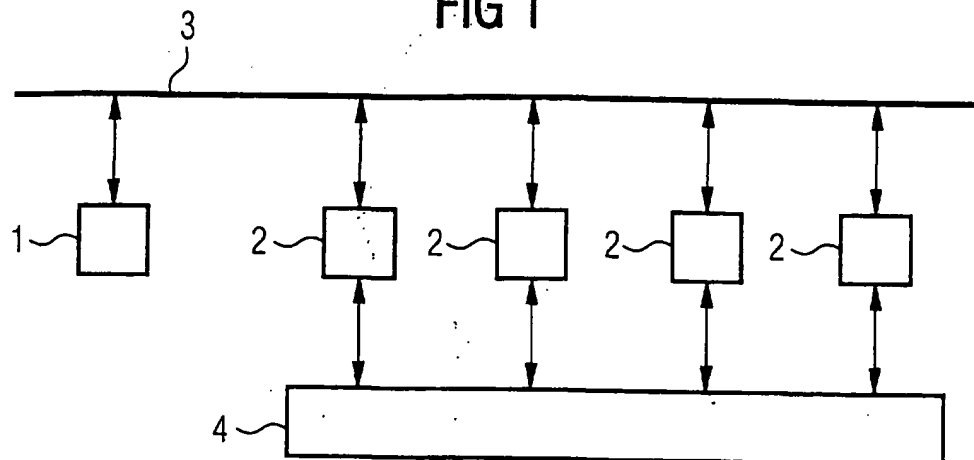


FIG 2

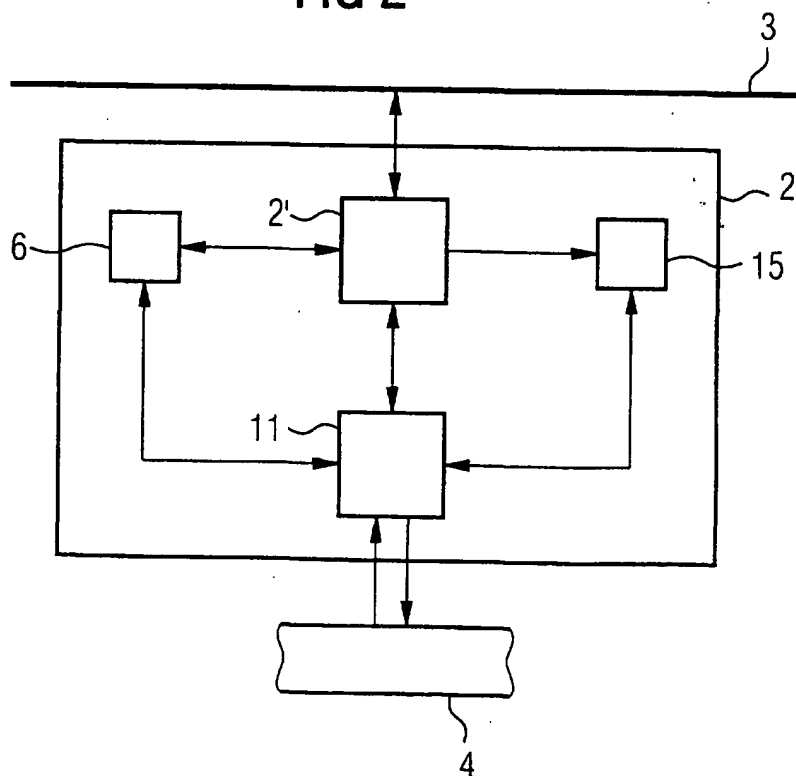


FIG 3

